



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 624 787 A1**

12

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 94104137.8

51 Int. Cl. 5: G01N 21/88

22 Anmeldetag: 17.03.94

30 Priorität: 29.03.93 CH 950/93

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
17.11.94 Patentblatt 94/46

84 Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH DE FR GB IT LI NL SE

71 Anmelder: **TENCOR INSTRUMENTS**  
2400 Charleston Road  
Mountain View, CA 94043 (US)

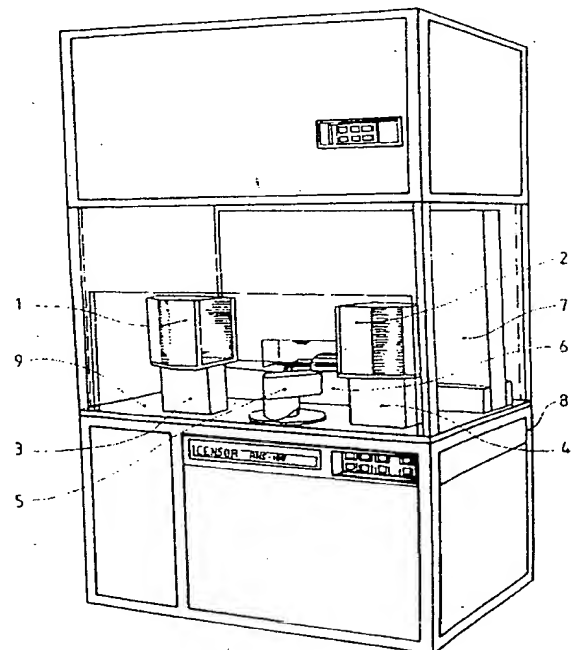
72 Erfinder: **Marxer, Norbert**  
Mühlegasse 148  
FL-9486 Schaanwald (LI)

74 Vertreter: **OK pat AG**  
Hinterbergstrasse 36,  
Postfach 5254  
CH-6330 Cham (CH)

54 Verfahren und Einrichtung zur zerstörungsfreien Oberflächen-Inspektion.

57 Solche Verfahren kommen hauptsächlich in einem Substrat-Oberflächen-Inspektionsgerät zur Inspektion von Wafern zur Anwendung. Neben kleinsten Partikeln (im Bereich von 100 nm) können mit derartigen Einrichtungen Kristallfehler, metallische Verunreinigungen, Polierfehler, Kratzer und andere Inhomogenitäten auf Wafern visualisiert werden. Dabei werden solche Wafer in sogenannten Waferkassetten (1, 2) vor bzw. nach der Inspektion in eine Inspektionseinrichtung eingeführt und auf genauen Lagerböcken (3, 4) einem Greifsystem zur Verfügung gestellt und von dort über roboterartig arbeitende Schwenkarme (5) auf eine Inspektionsbühne (7) geladen und ausgemessen, wobei das Ergebnis über eine aufwendige Elektronik (8) ermittelt und visualisiert wird.

Fig. 1



EP 0 624 787 A1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur zerstörungsfreien Oberflächen-Inspektion, insbesondere zur Messung von kleinen Partikeln, Defekten und Inhomogenitäten, die sich auf der Oberfläche und/oder in oberflächennahen Bereichen eines Messobjektes, insbesondere eines Silizium Wafers befinden, mit einer einen Beleuchtungsstrahl erzeugenden Lichtquelle, einer Strahlumlenkung, einer zu einem senkrecht auf das Messobjekt einfallenden Beleuchtungsfleck führenden Projektionsoptik, einem Photodetektor, auf den das gesammelte Licht gerichtet wird, und einer Einrichtung mit der das Messobjekt durch eine koordinierte Translations- und Rotationsbewegung derart bewegt wird, dass die gesamte Oberfläche vom Beleuchtungsfleck spiralförmig abgetastet wird.

Mit derartigen Verfahren und/oder Einrichtungen lassen sich beispielsweise in der Mikroelektronik Oberflächen von Wafern, Magnetspeichermedien und/oder Substraten für optische Anwendungen zerstörungsfrei auf etwa vorhandene Partikel und/oder Defekte kontrollieren bzw. inspizieren.

Die Entwicklung von Waferbelichtungsverfahren führte dazu, dass immer kleinere Strukturen auf den entsprechenden Waferoberflächen hergestellt werden. Parallel zu dieser Entwicklung steigt die Bedeutung von Inspektionssystemen, mit deren Hilfe immer kleinere Defekte und Partikel nachgewiesen werden können. Neben Partikeln, die etwa 75 % des Ausschusses bei der IC Produktion verursachen, müssen auch viele andere Arten von Inhomogenitäten (Schichtdickenverteilungen, Kristalldefekte an und unter der Oberfläche, u.s.w.) detektiert werden.

So müssen bei der Endinspektion die Waferhersteller und bei der Eingangskontrolle die Chiphersteller den unstrukturierten und unbeschichteten Wafer genauestens auf Partikelkontamination, Kristalldefekte, Rauigkeit, Polierkratzer u.s.w. untersuchen. Bei dieser Aufgabe hat das Messobjekt eine optimal polierte Oberfläche, sodass diese sehr wenig Streulicht erzeugt.

Bei der Chipherstellung ist es gebräuchlich, die einzelnen Prozessschritte zu überwachen, um frühzeitig Problemstellen zu erkennen und damit grösseren Ausschuss zu vermeiden. Eine Möglichkeit der Prozessüberwachung ist die Verwendung von sogenannten Monitorwafern, die gewisse Prozessschritte mitmachen, jedoch nicht strukturiert werden. Durch den Vergleich zweier Messungen, wobei eine vor dem Prozessschritt und eine andere nach dem Prozessschritt durchgeführt wird, kann so zum Beispiel die Partikelkontamination durch den Prozessschritt bestimmt oder auf die Gleichmässigkeit des Prozessschrittes (zum Beispiel der Schichtdickenverteilung über den ganzen Wafer) geschlossen werden. Bei diesen Untersuchungen

kann es sich um raue, metallisierte Oberflächen handeln, die sehr viel Streulicht erzeugen. Es kann sich aber auch um filmbeschichtete Oberflächen, wo Interferenzerscheinungen zu beachten sind, handeln.

Idealerweise wird zur Überwachung der Prozessschritte jedoch der strukturierte Wafer untersucht. Da sich strukturierte und unstrukturierte Wafer nicht immer gleich verhalten, kann die Untersuchung von Monitorwafern oft nicht als repräsentativ für den wirklichen Prozess angesehen werden. Bei solchen Untersuchungen kommt erschwerend hinzu, dass das von den Strukturen gebeugte Licht das von Partikeln und Defekten gestreute Licht überlagert.

Für die zuvor beschriebenen Inspektionen eignen sich besonders sogenannte Laserscanner, die sich durch eine grosse Nachweisempfindlichkeit für kleine Defekte und einen hohen Durchsatz auszeichnen. Die einzelnen Laserscanner unterscheiden sich hauptsächlich durch die Art der Abtastung, die optische Konfiguration und die Datenverarbeitung.

Für Anwendungen, die einen hohen Durchsatz und 100%-tige Inspektion der ganzen Waferoberfläche verlangen, gibt es zwei Verfahren, die hauptsächlich angewendet werden. Beim ersten Verfahren (z.B.: US-PS 4,314,763) ist der Beleuchtungsstrahl und die Sammeloptik statisch und das Messobjekt wird -mittels einer koordinierten Translations- und Rotationsbewegung des Messobjekts- spiralförmig abgetastet. Beim zweiten Verfahren (z.B.: US-PS 4,378,159) wird der Beleuchtungsstrahl mit einem rotierenden oder vibrierenden Spiegel in einer Richtung linear auf dem Wafer hin- und herbewegt und -mittels gleichzeitiger Translationsbewegung des Messobjekts in einer dazu senkrechten Richtung- der ganze Wafer abgetastet.

Die Vorteile des Spiralabtast-Verfahrens sind:

- die Optik enthält keine beweglichen Teile und ist damit einfacher;
- der Beleuchtungsfleck und der Sammelbereich sind während der ganzen Messung konstant, d.h. homogene Empfindlichkeit über das ganze Messobjekt;
- die Bestimmung der genauen Streufleckposition auf dem Messobjekt aus dem Rotationswinkel und der Translationsdistanz ist einfacher als die Berechnung dieser Position aus der Spiegellage und der Translationsdistanz; es wird weniger Platz benötigt, da das Messobjekt nur um seinen Radius verschoben werden muss;
- beim Übergang zu grösseren Messobjekten muss die Optik nicht angepasst, sondern nur der Fahrweg der Translationsbühne vergrössert werden.

Die Vorteile der Bewegung des Beleuchtungsstrahls mittels Spiegel sind:

- die Bewegung des Messobjekts ist nur in einer Richtung und damit einfacher;
- die Abtastung kann üblicherweise schneller erfolgen.

Weil bei letzterem Abtastverfahren der Beleuchtungsfleck über das Messobjekt und damit die Streulichtquelle relativ zur Sammeloptik bewegt wird, ist eine gleichmässige Messempfindlichkeit nicht gewährleistet. Ebenso ist ein rotationssymmetrischer Aufbau der Sammeloptik nicht möglich. Dies sind damit wesentliche Nachteile eines so konfigurierten Laserscanners.

Beim Einsatz eines Laserscanners mit der oben beschriebenen Spiralabtastung sind verschiedene optische Konfigurationen bekannt:

Beispielsweise ist gemäss der **US-PS 4,893,932** eine Anordnung bekannt in der zwei Laser unterschiedlicher Polarisierung und zwei entsprechende Detektoren vorgesehen sind. Die Streulichtintensität von Kugeln als Funktion der Kugeldurchmesser hat Oszillationen für Durchmesser im Bereich der verwendeten Wellenlänge und ist streng monoton steigend für kleinere Durchmesser. Der Einsatz von unterschiedlich polarisiertem Licht verkleinert die Fehler bei der Zuordnung von Streulichtintensität zu Partikeldurchmesser für Polystyrene Latex Kugeln, die zur Kalibration von Laserscannern verwendet werden.

In der Praxis hängt jedoch die Zuordnung von Streulichtintensitäten zu Partikeldurchmessern von so vielen Faktoren (Substratmaterial, vorhandene Filme, Partikelmaterial, Oberflächenstruktur der Partikel usw.) ab, sodass eine auf Polystyrene Latex Kugeln zugeschnittene Optik und Kalibration des Gerätes die Interpretation der Resultate eher erschwert.

Ein weiterer wesentlicher Nachteil dieses Verfahrens ist die Tatsache, dass durch den Schräglichteinfall und die lineare Polarisierung des Laserlichts die Symmetrie gebrochen wird. Das Messsignal hängt dadurch von der Orientierung des Defekts ab.

Durch die **JP 63'14'830** ist eine Sammeloptik aus jeweils sechs konzentrisch ringförmig angeordneten faseroptischen Lichtleitern, die auf einen Photomultiplier geführt werden, bekannt geworden. Nachteilig bei dieser Anordnung ist, dass der achsennahe Bereich nicht erfasst wird, zudem wird durch diskrete Anordnung eine Rotationssymmetrie nur approximativ erreicht.

In der **US-PS 5,189,481** wird ein Universalaufbau, mit dem eine Vielzahl verschiedenster Messungen durchgeführt werden kann, beschrieben. Eine der Messmethoden benutzt eine Spiralabtastung mit einem Einfallswinkel von ca. 0 Grad, wobei das Licht mittels einer Coblentz Kugel einge-

sammelt wird. Der Sammelwinkelbereich ist sehr gross und die Streulichtintensität wird als Mass für die Oberflächenrauigkeit des Messobjekts benutzt. Nachteilig ist bei solchen Messmethoden, dass nur sehr wenig Platz für einen Detektor vorhanden ist, sodass der Einsatz eines Photomultipliers, der zur Detektion kleinster Partikel mit Vorteil eingesetzt wird, nicht möglich ist. Ausserdem wird bei dieser Methode die Rotationssymmetrie gebrochen, da der Detektor ausserhalb des einfallenden Strahls angeordnet sein muss.

Wohl ist in der **US-PS 4,508,450** ein rotationssymmetrischer optischer Aufbau offenbart. Allerdings ist die dabei gewählte Methode so, dass das direkt reflektierte Licht gemessen wird. Dabei hat sich nun als sehr nachteilig erwiesen, dass mit dieser Konfiguration nur sehr grosse Defekte und Oberflächeninhomogenitäten erfassbar sind.

Durch die **EP-A-0'290'228** ist eine Anordnung bei der gestreutes Licht auf zwei Detektoren geleitet wird, bekannt geworden. Der erste Detektor sammelt Licht, das um ca. 40 bis 100 mrad abgelenkt und der zweite Detektor sammelt solches, das um mehr als 100 mrad gestreut wurde. Eine solche winkelaufgelöste Messung mittels zweier Detektoren ermöglicht eine Defektklassifikation. Der Sammelwinkelbereich ist jedoch beschränkt und daher lassen sich sehr kleine Defekte nicht messen.

Eine ähnliche Lösung zeigt die **DE-A-41'34'747**, wo zwei als Arrays aufgebaute Detektoren vorgesehen sind, wobei der eine die radiale und der andere die azimutale Lichtverteilung misst. Bei dieser Anordnung rotiert das Messobjekt und die Optik wird linear verschoben.

Ebenfalls eine winkelauflösende Streulichtmessung -mittels ringförmig angeordneter faseroptischer Elemente- zeigt die **DD 250'850**. Beide zuvor skizzierten Verfahren haben den Nachteil, dass der Sammelwinkel im Vergleich zur erfindungsgemässen Anordnung viel kleiner ist.

In der **US-PS 4'314'763** ist in diesem Zusammenhang ein Aufbau beschrieben, wo senkrechter Lichteinfall und Rotationssymmetrie der Sammeloptik um die Senkrechte des Messobjekts eine von der Orientierung des Defekts unabhängige Messung ermöglichen. Der Sammelwinkelbereich der eingesetzten Linsensysteme ist jedoch klein und damit der Nachweis sehr kleiner Partikel mit hohem Durchsatz nicht möglich.

In der **US-PS 4,598,997**, die vom gleichen Erfinder stammt, wird durch Zusatz einer speziellen Maske zum obigen Aufbau die Messung von strukturierten Oberflächen verbessert. Die Maske hat dabei die Aufgabe, die von den Strukturen gebeugten Strahlen zu unterdrücken.

Der Erfindung liegt damit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Einrichtung zu schaffen, die die Nachteile des zuvor skizzierten Standes der

Technik vermeidet und eine erheblich grössere Messempfindlichkeit für Partikel auf zu inspizieren- den Messobjekten aufweist und die Hazeempfindlichkeit nicht beeinträchtigt. Zudem soll auf einfache Art und Weise die Empfindlichkeit des Aufbaus der Einrichtung, die Streufleckgrösse und damit der Anteil des gestreuten Lichtes verändert werden können. Ausserdem soll ein möglichst grosser Anteil des gestreuten Lichtes unverfälscht zur Verfügung gestellt werden, damit je nach Inspektionsaufgabe auf flexible Art selektiv der relevante Streulichtanteil ausgekoppelt und weiterverarbeitet werden kann.

Die Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst.

Durch die Anwendung dieser Merkmale ergeben sich die wesentlichen Vorzüge der Erfindung:

- Durch die statische Anordnung der Projektions- und der Sammeloptik im Raum ist die Messempfindlichkeit auf der ganzen Oberfläche des Messobjekts konstant, wenn das Messobjekt parallel zu seiner Oberfläche bewegt wird;
- durch die bezüglich der, Senkrechten zur Messobjektoberfläche rotationssymmetrischen Anordnung von einfallendem Strahl und Sammeloptik ist die Messempfindlichkeit unabhängig von der Orientierung eines Defekts, zum Beispiel eines Polierkratzers;
- durch die Verwendung eines rotationssymmetrisch aufgebauten elliptischen Spiegels wird ein sehr grosser Bereich zum Einsammeln des Streulichtes erfassbar. Dies ist wichtig im Hinblick auf die Detektion von Partikeln in der Grössenordnung von 100 nm, die ziemlich gleichmässig in den ganzen Halbraum streuen;
- durch die entsprechende Linsenanordnung wird auch achsennahes Licht sammelbar, was besonders wichtig ist für die Detektion von Partikeln in der Grössenordnung von 1 µm, da solche Partikel eine grosse Vorwärts- und Rückwärtsstreuung haben;
- durch die Abbildung des vom Beleuchtungsfleck gestreuten Lichtes auf die erste Blende wird eine grosse Flexibilität bezüglich der Ausbildung verschiedenster Blendenkonfigurationen geschaffen und es werden orts aufgelöste, winkelaufgelöste, Polarisations- und andere Messungen möglich, ohne dass der Beleuchtungsstrahl tangiert wird und ohne dass die zentrale Baugruppe der Einrichtung bestehend aus dem elliptischen Spiegel, dem Linsensystem, der Strahlumlenkung und der Dunkelfeldblende neu optimiert werden muss. Dies ist eminent wichtig, denn es muss beachtet werden, dass die Anforderungen an die Qualität dieser Komponenten recht hoch

und die genaue Dimensionierung recht delikat ist. So ist zum Beispiel das von qualitativ besten Wafern stammende Haze etwa 50 ppb (d.h. dass nur ein Bruchteil von 0,000'000'05 des eingestrahnten Lichtes in den Photosensor gestreut wird). Da für die Messung kleinster Partikel der Haze störend ist, muss darauf geachtet werden, diesen möglichst klein zu halten. Das heisst aber auch, dass von den optischen Komponenten stammendes Störlicht und Umgebungslicht bedeutend kleiner als 50 ppb sein muss, damit die Messung nicht beeinflusst (verschlechtert!) wird.

Eine zusätzliche Verbesserung der Einrichtung kann durch den Einsatz unterschiedlicher Linsen der Projektionsoptik erreicht werden und unter Einsatz einer dritten Blende der Beleuchtungsfleck entsprechend auf der Messobjektoberfläche abgebildet werden, sodass eine grosse Flexibilität zur Erzeugung unterschiedlicher Form und Grössen des Beleuchtungsflecks geschaffen wird. Damit können also unterschiedliche Messempfindlichkeiten für Partikel, die von der Lichtleistungsdichte abhängen, eingestellt werden.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung in Form der Konfiguration der ersten Blende oder in der Anordnung von Lichtleitern, die oberhalb der ersten Blende vorgesehen werden

- kann eine Steigerung des Signal-Rausch-Verhältnisses für die Partikelmessung durch gezielte Auswahl des optimalen Winkelbereiches erreicht werden,
- kann eine Selektion oder Unterdrückung von Defekten mit bestimmtem Streuverhalten erzielt werden,
- kann eine Defektklassifikation durch winkelaufgelöste Streulichtmessung bei bekanntem Abstrahlverhalten der verschiedenen Defekte vorgenommen werden,
- kann die Auskopplung von bestimmten räumlichen Frequenzen der Oberfläche vorgenommen werden.

Bei Anordnung von Abschwächern oberhalb der ersten Blende kann in einer weiteren Konfiguration das Licht einfach reduziert werden, ohne den Projektions- oder Sammelstrahl zu beeinflussen, um den Photodetektor im optimalen Arbeitsbereich zu betreiben.

Im folgenden wird die Erfindung anhand eines in den einzelnen Figuren dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1** eine Gesamtansicht einer Wafer-Inspektions-Einrichtung mit zwei Waferkassetten und einer automatischen Wafertransport- und -Mess-Vorrichtung,

**Fig. 2** eine Prinzipdarstellung des Standes der Technik,

**Fig. 3** eine weitere Prinzipdarstellung einer Anordnung aus dem Stand der Technik mit einem vorrichtungsgemässen Aufbau,

**Fig. 4** ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemässen Anordnung,

**Fig. 5** ein zweites Ausführungsbeispiel der erfindungsgemässen Anordnung.

**Fig. 1** zeigt ein Substrat-Oberflächen-Inspektionsgerät wie es hauptsächlich zur Inspektion von Wafern zur Anwendung kommt. Neben kleinsten Partikeln (im Bereich von 100nm) können mit solchen Einrichtungen Kristallfehler, metallische Verunreinigungen, Polierfehler, Kratzer, Implantationsinhomogenitäten und andere Inhomogenitäten auf Wafern visualisiert werden.

Es ist eine Voraussetzung für die Messung von sehr kleinen Partikeln in der Grössenordnung von 80 nm, dass die Messung in einer sehr sauberen Umgebung (z.B. "Klasse 1 Reinraum") stattfindet.

Die notwendige Reinheit zur Durchführung von solchen Messungen wird also beim Stand der Technik beispielsweise durch eine Flow-Box und ein aerodynamisch transparentes Design gewährleistet.

**Fig. 2** zeigt eine Prinzipdarstellung des Standes der Technik eines Oberflächen-Inspektionsgerätes, das auf dem Prinzip der Messung der elastischen Streuung beruht. Eine Lichtquelle (Laserslicht) **1** beleuchtet eine punktförmige Stelle **2** auf einer Wafer-Oberfläche **3**. Das reflektierte Licht verlässt die Anordnung in Richtung des Pfeiles **BF**. Ein Teil **4** des von der Oberfläche gestreuten Lichtes wird durch eine erste Linse **5** gesammelt und in einen Photodetektor **7** abgebildet. Ein Ausgangssignal **8** des Photodetektors **7** wird einem Verstärker **9** zugeführt. Dabei liegt nun die zu inspizierende Wafer-Oberfläche **3** in der sogenannten Fokus-Ebene **10**. Kommt nun an der beleuchteten Stelle **2** ein Defekt vor, so steigt der Anteil des gestreuten Lichtes **4** an und die Intensität des auf den Photodetektors **7** gelangenden Lichtes nimmt zu. Die Spannung (Ua) **11** am Ausgang des Verstärkers **9** steigt damit ebenfalls an.

**Fig. 3** zeigt eine Anordnung aus einer Oberflächen-Inspektions-Einrichtung. Das von einem Laser **20** ausgestrahlte Licht gelangt durch ein optisches Filter **21** (beispielsweise durch einen Abschwächer oder ein Neutralfilter) über eine Strahlumlenkung **22** (z.B. Spiegel oder Prisma) zu einer Sammellinse **23**.

Diese fokussiert das Licht zu einem Beleuchtungsfleck **24**. Dieser liegt in der Fokus-Ebene **10**. Während des Inspektionsvorganges liegt die zu inspizierende Wafer-Oberfläche **3** in der Fokus-Ebene **10**. Der von der Wafer-Oberfläche **3** gestreute Teil **4** des gestreuten Lichtes gelangt durch die Sammellinse **23** und die erste Blende **6** zum Photode-

tektor **7**. Die Öffnung **25** der ersten Blende **6** liegt im Abbild **26** des Beleuchtungsflecks **24** - (konfokales System) und hat in etwa dessen Form. Während der Kalibrierphase wird ein Referenzmedium **27** vorzugsweise unterhalb der Fokus-Ebene **10** angeordnet.

Da damit das Referenzmedium **27** ausserhalb der Fokus-Ebene **10** liegt, ist ein zweiter beleuchteter Fleck **28** ausdehnungsmässig grösser als der erste beleuchtete Fleck **24** in der Fokus-Ebene **10**. Gleichfalls ist in der Kalibrierphase die so erhellte Stelle **29** am Ort der ersten Blende **6** grösser als das Abbild **26**.

Da die Öffnung **25** der ersten Blende **6** immer noch gleich gross ist, gelangt nunmehr nur ein sehr geringer Anteil des gestreuten Lichtes durch die Öffnung **25** der ersten Blende **6** zum Photodetektor **7**.

Mit Hilfe des optischen Filters **21** und/oder dem Verlagern aus der Fokus-Ebene **10** wird ein Abschwächmechanismus gebildet.

Durch die Verstellung der Position des Referenzmediums **27** entlang der optischen Achse **32** kann die Grösse der erhellten Stelle **29** an der Stelle der ersten Blende **6** variiert werden.

Bei konstanten Abmessungen der Öffnung **25** der ersten Blende **6** kann somit die Menge der auf den Photodetektor **7** eintreffenden Energie reguliert werden.

Im Ausführungsbeispiel ist ein Verstellmechanismus **37** vorgesehen, bei dem auf einer über eine Stellschraube **33** in der Höhe verstellbaren Auflage **34** das Referenzmedium **27** - bestehend aus Oberfläche **30** und Volumen **31** - angeordnet ist. Die höhenverstellbare Auflage weist einen Rand **38** auf.

Die Höheneinstellung lässt sich in diesem Ausführungsbeispiel mittels einer Klemmschraube **35** fixieren.

Es ist im übrigen durchaus möglich, zwischen Lichtquelle **20** und Strahlumlenkung **22** wenigstens ein brechendes Element **36** (z.B. eine Linse) zu integrieren.

Natürlich können die hier in **Fig. 3, 4 und 5** beschriebenen Linsen, Laserquellen, Blenden, u.s.w. als ganze Systeme aufgebaut sein und sind das in der Praxis auch.

So kann zum Beispiel das von der Lichtquelle **20** abgestrahlte Licht kohärent oder inkohärent, monochromatisch oder polychromatisch, unpolarisiert oder polarisiert (elliptisch, linear, zirkular) sein. Es kann sich damit also um einen oder um zwei Laser unterschiedlicher Wellenlängen, eine Quecksilberdampflampe verbunden mit einem Polarisator, einer  $\lambda/4$  Platte u.s.w. handeln.

Ebenso kann mit Linse eine Einzellinse (sphärisch, zylindrisch) oder ein ganzes Linsen-System gemeint sein.

Zudem können zwischen der Lichtquelle 20 und dem Umlenkspiegel 22 zusätzliche Spiegel angeordnet sein, um die Justage der Optik zu erleichtern.

In den einzelnen Figuren wurden diese Details, die beispielsweise zur Justage und/oder Kalibration erforderlich sind, der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt.

Auch wird vorausgesetzt, dass auf den Stand der Technik insbesondere auf die US-PS 4,314,763 (Steigmeier et al) zurückgegriffen werden kann, wenn das System des Transportes zur spiralförmigen Abtastung, dem eigentlichen Scannen der zu inspizierenden Wafer, als zusammengesetzte Bewegung bestehend aus Translation und Rotation, angewendet wird, obwohl das eigentliche Prinzip als bekannt zu zählen hat.

Es ist übrigens eine Voraussetzung für die im folgenden aufzuzeigende erfindungsgemässe Lehre, die Lichtquellenzufuhr senkrecht zur Oberfläche des Messobjekts zu gewährleisten und die Lichtquelle und die Zufuhr des Lichtes statisch zu halten, während sich das zu inspizierende Objekt beim Scanvorgang spiralförmig unter dem Lichtstrahl vorbeibewegt. Die Rotationssymmetrie muss also erhalten bleiben. Kommt hinzu, dass bei der Erfindung nach Anspruch 10 eine Laser-Lichtquelle (20) vorgesehen ist, die zirkular polarisiertes Laserlicht erzeugt.

Fig. 4 zeigt ein solches erstes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemässen Einrichtung. Der Übersichtlichkeit halber wurden dabei die Bezugszeichen aus Fig. 3 übernommen, soweit es sich um identische Einrichtungsmerkmale in beiden Figuren handelt.

Dabei gelangt das von der Lichtquelle 20 abgestrahlte Licht über eine Projektionslinse 36' und eine Spotblende 21' via der Strahlumlenkung 22 zum Beleuchtungsfleck 24 auf dem Messobjekt (Wafer) 3. Die Grösse und Form des Beleuchtungsflecks 24 wird damit allein durch die Abbildung der Projektionslinse 36' in Verbindung mit der Spotblende 21' beeinflusst und eingestellt. Das vom Wafer 3 direkt reflektierte Licht 10 gelangt auf dem gleichen Weg zurück zur Lichtquelle, wobei eine Dunkelfeldblende 41 die Sicherheit erhöht, dass das direkt reflektierte Licht 10 nicht zum Photodetektor 7 gelangt.

Vorhandene Oberflächeninhomogenitäten auf dem zu inspizierenden Wafer 3 streuen das einfallende Licht in den ganzen Halbraum oberhalb des Beleuchtungsflecks 24. Um einen möglichst grossen Anteil des gestreuten Lichts zum Photodetektor 7 zu bringen wird ein elliptischer Spiegel 42, der rotationssymmetrisch um die optische Achse und oberhalb des Beleuchtungsflecks 24 und unterhalb der Strahlumlenkung 22 angeordnet ist, vorgesehen.

Dieser elliptische Spiegel 42 weist die Form eines Teils eines innen verspiegelten Rotationsellipsoids auf. Die Streustrahlen 11 und 12, sowie alle diesbezüglich durch den elliptischen Spiegel 42 gesammelten Strahlen bilden den Beleuchtungsfleck 24 auf die Öffnung 25 der ersten Blende 6 ab.

Der ersten Blende 6 kommt dabei die Aufgabe zu, unerwünschtes Streulicht, das beispielsweise an den optischen Komponenten entsteht, vom Photodetektor 7 abzuhalten, hingegen das vom Beleuchtungsfleck 24 stammende Streulicht der Strahlen 11 und 12 durchzulassen.

Fig. 5 zeigt die Funktion von zwei Linsen 39 und 40 in Verbindung mit dem elliptischen Spiegel 42 und mit den als Streulichtstrahlen angedeuteten einzelnen Strahlen 13, 14, 15 und 16.

Wesentlich neue Merkmale sind die beiden Linsen 39, 40 auf dem Lichtweg zwischen der Strahlumlenkung 22 und dem Beleuchtungsfleck 24, eine erste Linse 39 und eine zweite Linse 40, die auf der optischen Achse angeordnet sind und deren Funktion es ist, möglichst viel Licht einzusammeln. Genau das gleiche Ziel wird mit dem Einsatz eines elliptischen Spiegels 42, der Teil eines Rotationsellipsoids mit einer Symmetrieachse, die parallel zur optischen Achse verläuft, ist und wobei die beiden Brennpunkte des Ellipsoids einerseits im Beleuchtungsfleck 24 und andererseits im Abbild 26 liegen, angestrebt und erreicht.

Durch den Einsatz der beiden Linsen 39 und 40 in Verbindung mit dem elliptischen Spiegel 42 wird der Sammelbereich erheblich erweitert.

Damit die Strahlen via elliptischer Spiegel die Fokussiereinheit, die sich auf der optischen Achse befindet nicht treffen, sind zur Maximierung des Bereichs zwischen der Strahlumlenkung 22 und dem Beleuchtungsfleck 24 zwei Linsen notwendig. Die Position und die Brennweite dieser Linsen ist dabei so gewählt, dass die Fokussiereinheit auf der optischen Achse den Lichtfleck auch auf die erste Blende 6 vor dem Photosensor 7 abbildet. Die Dunkelfeldblende 41 -wenn nicht schon in der Strahlumlenkung integriert- verhindert, wie schon bei der Beschreibung der Fig. 4, dass das direkt reflektierte Laser-, beziehungsweise von optischen Komponenten gestreute Licht, auf den Photodetektor 7 gelangen kann.

Durch die Einführung einer orts aufgelösten Messung mit beispielsweise Ersatz eines einfachen Photodetektors 7 durch Detektorarrays kann das Signal/Rausch-Verhältnis weiter verbessert werden, da der Haze auf alle Detektoren gleich stark wirksam werden wird, der LPD (light point defect) aber bei einzelnen Detektoren mehr ansprechen wird.

Bei stark streuenden, zu inspizierenden Substraten kann es erforderlich sein, zwischen der Blende 6 und dem Photodetektor 7 mit Abschwä-

chern zu arbeiten, um den Photodetektor im optimalen Arbeitsbereich betreiben zu können.

Mittels sphärischer/zyklindrischer Linsen 36' anstelle einer eigentlichen Zylinderlinse 36 beim Stand der Technik kann die Grösse und Form -wie schon zuvor beschrieben- des im Beleuchtungspunkt 24 auftretenden durch die Laserquelle 20 erzeugten Beleuchtungsspot um einen bestimmten Faktor verändert werden.

Durch die durch die vorerwähnten Massnahmen gesteigerte Intensität des auf dem Abbild 26 erscheinenden reflektierten Lichtes kann auch mit winkelaufgelöster Messung gearbeitet werden, indem beispielsweise zwischen der ersten Blende 6 und dem Photosensor 7 Lichtleiter eingesetzt werden und damit die Möglichkeit besteht gewisse Streuwinkel zu eliminieren.

Oberhalb der ersten Blende 6 kann zur weiteren Veränderung der Konfiguration eine zweite Blende 6' vorgesehen sein, um bestimmte Streuwinkelstrahlen zu eliminieren.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur zerstörungsfreien Oberflächen-Inspektion, insbesondere zur Messung von kleinen Partikeln, Defekten und Inhomogenitäten, die sich auf der Oberfläche und/oder in oberflächennahen Bereichen eines Messobjektes, insbesondere eines Silizium Wafers (3) befinden, mit einer einen Beleuchtungsstrahl erzeugenden Lichtquelle (20), einer Strahlumlenkung (22), einer zu einem senkrecht auf das Messobjekt einfallenden Beleuchtungsfleck (24) führenden Projektionsoptik, einem Photodetektor (7), auf den das gesammelte Licht gerichtet wird, und einer Einrichtung mit der das Messobjekt durch eine koordinierte Translations- und Rotationsbewegung derart bewegt wird, dass die gesamte Oberfläche vom Beleuchtungsfleck (24) spiralförmig abgetastet wird.  
**dadurch gekennzeichnet**, dass streulicht-sammelnde Mittel (39, 40, 42) vorgesehen werden, die in der Lage sind, sowohl Streulicht mit kleinem Winkel (13, 14) nahe der optischen Achse, als auch Streulicht mit grossem Winkel (15, 16) zur optischen Achse, einzusammeln.
2. Einrichtung zur zerstörungsfreien Oberflächen-Inspektion, insbesondere zur Messung von kleinen Partikeln, Defekten und Inhomogenitäten, nach Patentanspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen der Strahlumlenkung (22) und dem Beleuchtungsfleck (24) eines zu inspizierenden Wafers (3) wenigstens eine Linse (39, 40) so auf der optischen Achse angeordnet ist, dass

die vom Messobjekt gestreuten achsnahen Strahlen (13, 14) zum Photodetektor (7) gelenkt werden und dass im gleichen Bereich der Anordnung ein elliptischer Spiegel (42) vorgesehen ist, der die Linse(n) (39, 40) umgreift und als Sammeloptik für achsenfernere Strahlen dient.

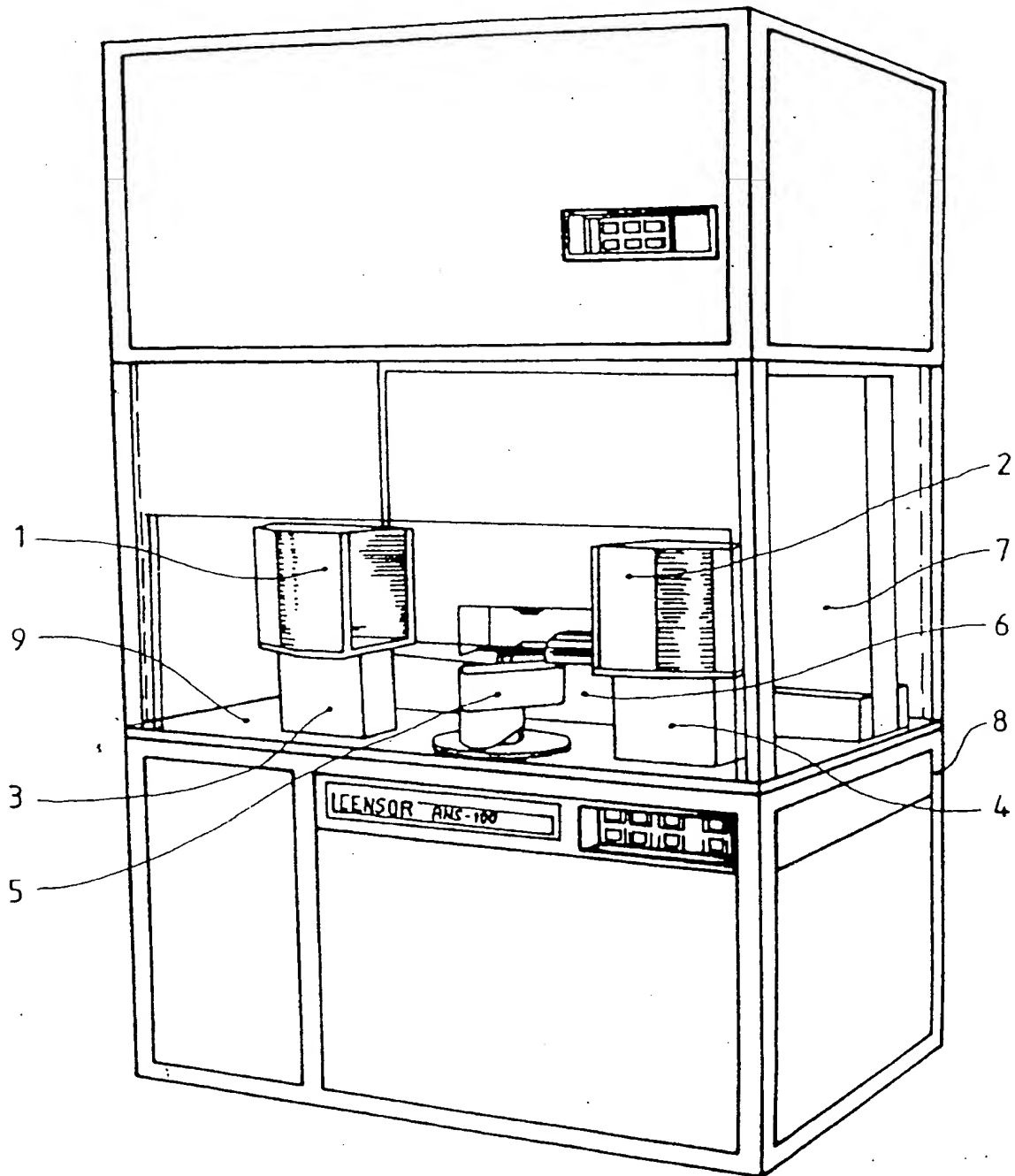
3. Einrichtung zur zerstörungsfreien Oberflächen-Inspektion, insbesondere zur Messung von kleinen Partikeln, Defekten und Inhomogenitäten, nach Patentanspruch 2,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass eine erste Linse (39) im Bereich der Strahlumlenkung (22) und eine zweite Linse (40) im Bereich des Beleuchtungsflecks (24) vorgesehen ist.
4. Einrichtung zur zerstörungsfreien Oberflächen-Inspektion, insbesondere zur Messung von kleinen Partikeln, Defekten und Inhomogenitäten, nach einem der Patentansprüche 2 bis 3,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass mittels zwischen Lichtquelle (20) und Strahlumlenkung (22) angeordneter Linse (36') die Grösse und die Form des Beleuchtungsflecks (24) variierbar ist.
5. Einrichtung zur zerstörungsfreien Oberflächen-Inspektion, insbesondere zur Messung von kleinen Partikeln, Defekten und Inhomogenitäten, nach einem der Patentansprüche 2 bis 4,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen Strahlumlenkung (22) und einer ersten Blende (6) vor dem Photodetektor (7) eine Dunkelfeldblende (41) vorgesehen ist, mittels der das vom Messobjekt direkt reflektierte Licht (10) gegen den Photodetektor (7) abschirmbar ist.
6. Einrichtung zur zerstörungsfreien Oberflächen-Inspektion, insbesondere zur Messung von kleinen Partikeln, Defekten und Inhomogenitäten, nach Patentanspruch 5,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass der Photodetektor (7) aus einem, bei der ersten Blende (6) angeordneten Detektorarray besteht.
7. Einrichtung zur zerstörungsfreien Oberflächen-Inspektion, insbesondere zur Messung von kleinen Partikeln, Defekten und Inhomogenitäten, nach Patentanspruch 6,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass eine oberhalb der ersten Blende (6) eine zweite Blende (6') vorgesehen ist, mittels der bestimmte Streuwinkel unterdrückbar sind.

8. Einrichtung zur zerstörungsfreien Oberflächen-Inspektion, insbesondere zur Messung von kleinen Partikeln, Defekten und Inhomogenitäten, nach einem der vorangehenden Patentansprüche,  
 5  
**dadurch gekennzeichnet**, dass  
 zwischen der ersten Blende (6) und dem Photodetektor (7) ein Abschwächer vorgesehen ist, der das auf den Photodetektor (7) auftreffende Streulicht reduziert.  
 10
9. Einrichtung zur zerstörungsfreien Oberflächen-Inspektion, insbesondere zur Messung von kleinen Partikeln, Defekten und Inhomogenitäten, nach einem der vorangehenden Patentansprüche,  
 15  
**dadurch gekennzeichnet**, dass  
 oberhalb der ersten Blende (6) angeordnete Lichtleiter das Licht einem als Detektorarray ausgebildeten Photodetektor (7) zubringen, um eine winkelaufgelöste Streulichtmessung zu erreichen.  
 20
10. Einrichtung zur zerstörungsfreien Oberflächen-Inspektion, insbesondere zur Messung von kleinen Partikeln, Defekten und Inhomogenitäten, nach einem der vorangehenden Patentansprüche,  
 25  
**dadurch gekennzeichnet**, dass  
 Mittel vorgesehen sind, dass das auf das Messobjekt einfallende Licht zirkular polarisiert ist.  
 30
11. Einrichtung zur zerstörungsfreien Oberflächen-Inspektion, insbesondere zur Messung von kleinen Partikeln, Defekten und Inhomogenitäten auf ebenen Messobjekten, insbesondere Silizium Wafern (3), mit einer einen Beleuchtungsstrahl erzeugenden Lichtquelle (20), einer Strahlumlenkung (22), einem senkrecht auf das ebene Messobjekt einfallenden Beleuchtungsfleck (24) und einer Transportvorrichtung mit der das zu inspizierende Messobjekt, insbesondere ein Wafer (3), durch eine koordinierte Translations- und Rotationsbewegung derart bewegt wird, dass die gesamte Oberfläche des Messobjekts spiralförmig abgetastet wird und wobei ein Photodetektor (7) vorgesehen ist auf den das gesammelte Licht richtbar ist  
 35  
**dadurch gekennzeichnet**, dass  
 40  
 die Grösse und Form des Beleuchtungsflecks (24) durch eine, zwischen der Lichtquelle (20) und der Strahlumlenkung (22) angeordnete Linse (36') in Verbindung mit einer ebenfalls zwischen der Lichtquelle (20) und der Strahlumlenkung angeordneten Spotblende 21', wählbar ist und das Streulicht ausschliesslich mit einem elliptischen Spiegel (42) zum Photodetek-  
 45  
 50  
 55

tor (7) lenkbar ist.



Fig. 1



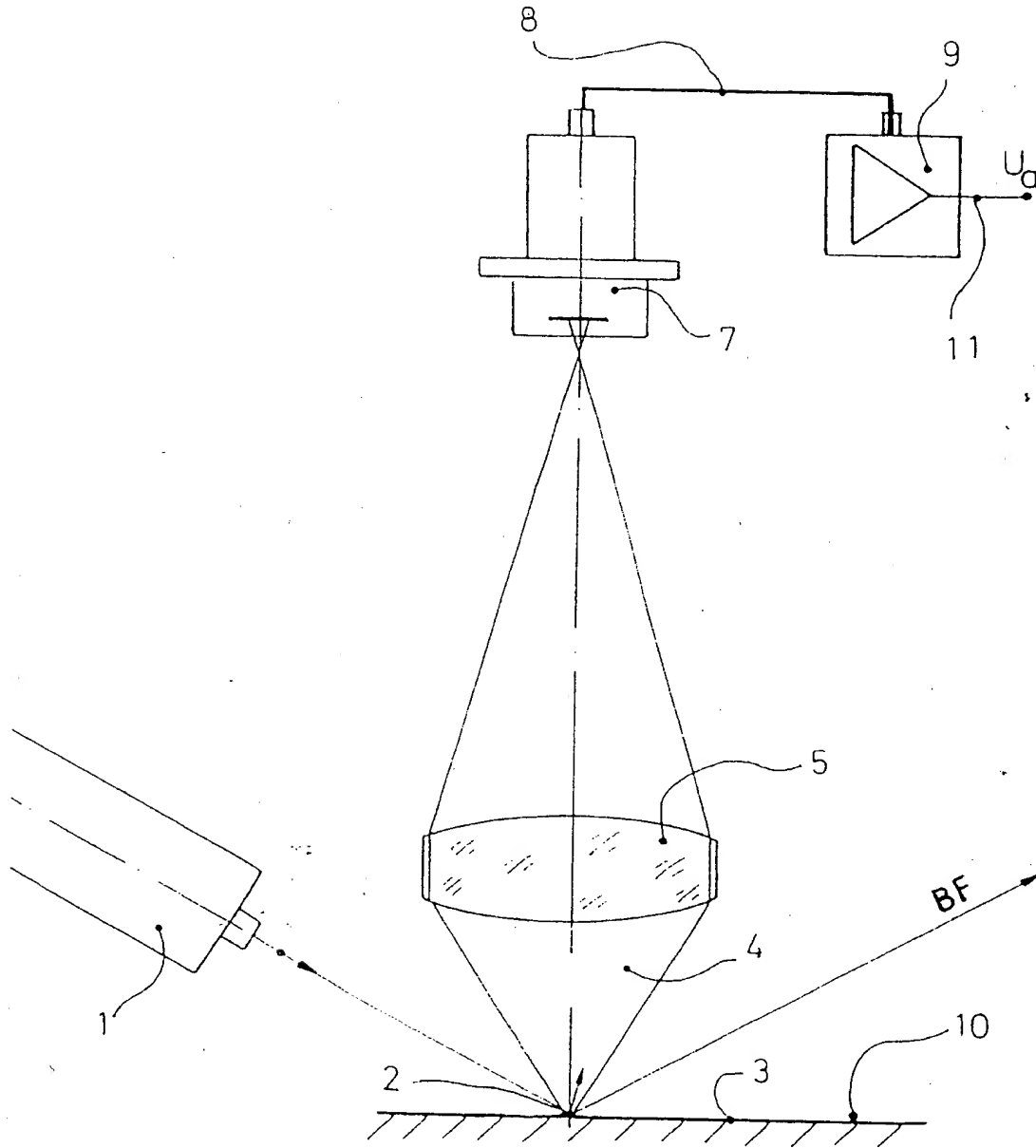


Fig. 2

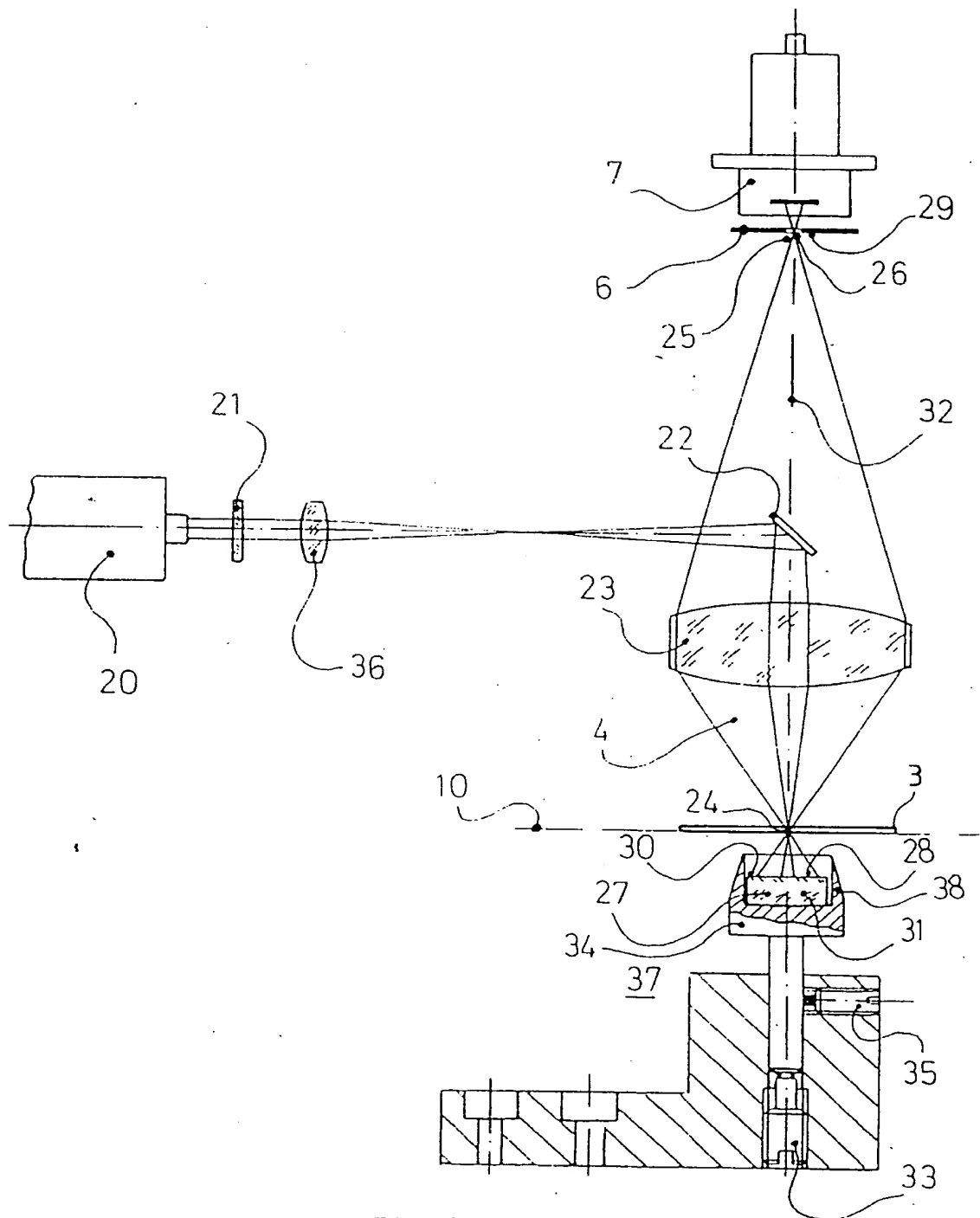
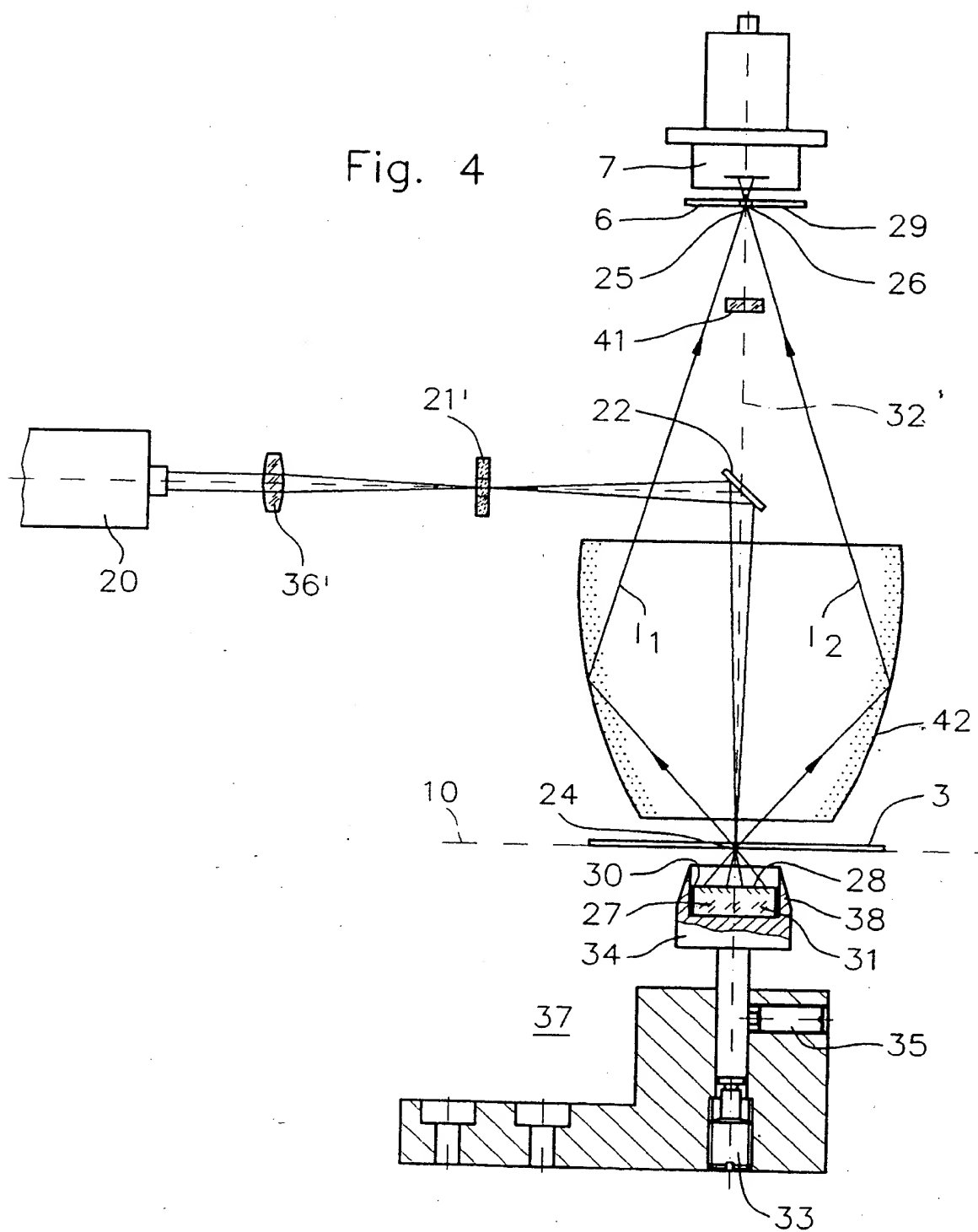
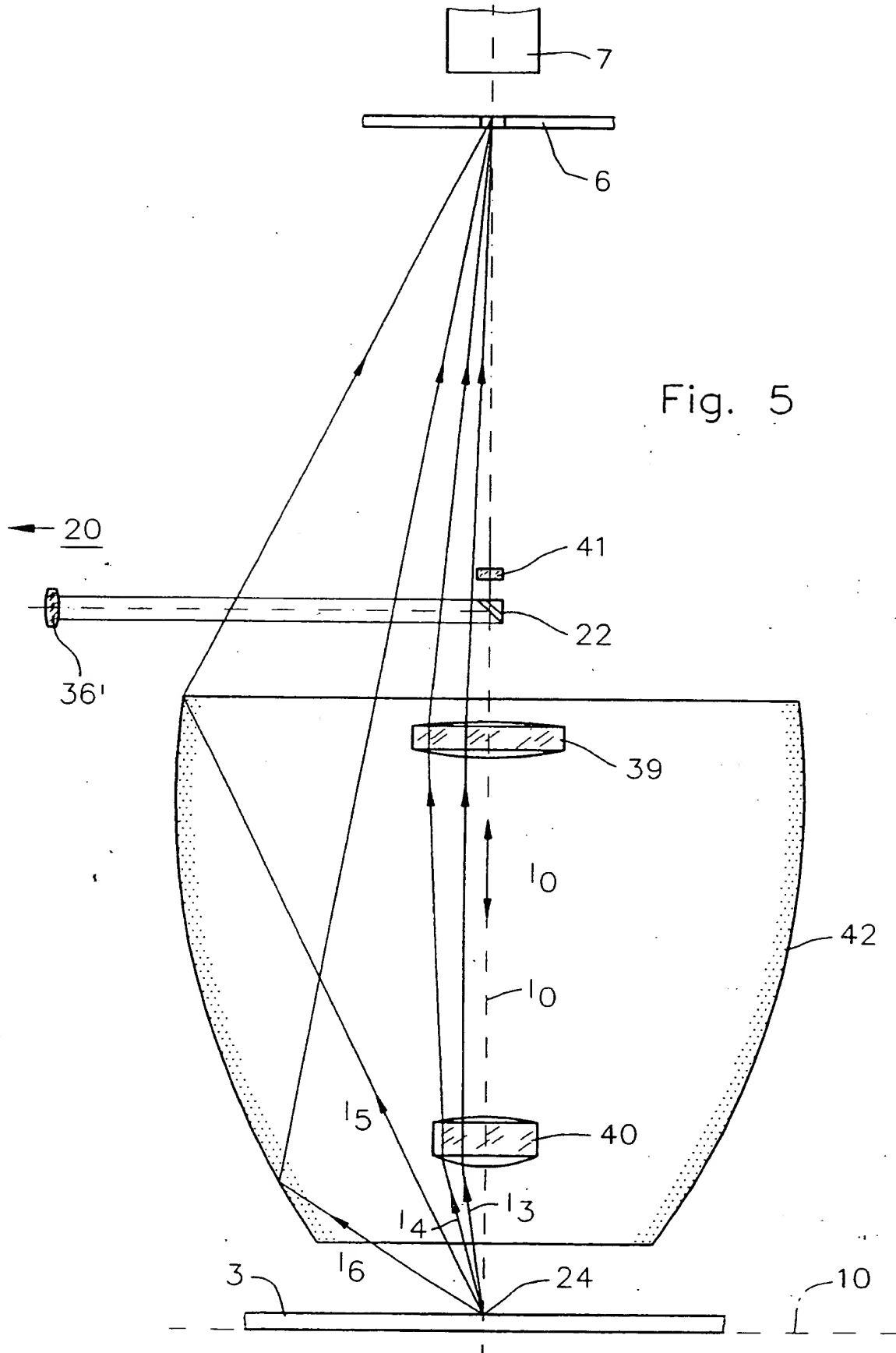


Fig. 3

Fig. 4







Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 94 10 4137

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.CI.5)
X,D	US-A-4 794 264 (QUACKENBOS) 27. Dezember 1988 * Spalte 2 - Spalte 5; Abbildungen 1,4,8 *	1	G01N21/88
X	SOLID STATE TECHNOLOGY, Bd.25, Nr.4, 1. April 1982 Seiten 83 - 84 N 'WAFER SURFACE DEFECT AND CONTAMINATION DETECTOR' GANZES DOKUMENT	1	
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 13, no. 332 (P-905) (3680) 26. Juli 1989 & JP-A-01 096 537 (HITACHI ELECTRON) 14. April 1989 * Zusammenfassung *	1	
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 6, no. 137 (P-130) (1015) 24. Juli 1982 & JP-A-57 059 153 (HITACHI ZOSEN) 9. April 1982 * Zusammenfassung *	1-3	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.CI.5) G01N
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 13, no. 502 (P-958) (3850) 13. November 1989 & JP-A-01 201 143 (HITACHI) 14. August 1989 * Zusammenfassung *	1	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 12, no. 377 (P-768) (3224) 7. Oktober 1988 & JP-A-63 122 935 (TOSHIBA CORP.) 26. Mai 1988 * Zusammenfassung *	1	
-/--			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchiert DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 5. Juli 1994	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		Prüfer Boehm, C	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument I : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 (02.82) (P04C01)



Europäisches  
Patentamt

## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 94 10 4137

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.5)
A	DE-A-36 26 724 (SIEMENS AG) 11. Februar 1988 ---	1,2,11	
A,D	US-A-4 378 159 (GALBRAITH) 29. März 1983 * Spalte 2 - Spalte 4 *	1	
A,P	DE-A-41 34 747 (UNIV. JENA) 29. April 1993 ---	1,6,9	
A,D	US-A-4 508 450 (OLYMPUS OPTICAL) 2. April 1985 * Spalte 2 - Spalte 4; Abbildungen 1,2,4 *	1,9	
A,D	US-A-4 598 997 (STEIGMEIER) 8. Juli 1986 * Spalte 2 - Spalte 5 *	1,7	
A	US-A-4 464 050 (KATO) 7. August 1984 * Spalte 3 - Spalte 5; Abbildungen 2,3,9 *	1,10	
A	US-A-4 441 124 (HEEBNER) 3. April 1984 * Spalte 2 - Spalte 4 *	1,5	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.5)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchemitt DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 5. Juli 1994	
		Prüfer Boehm, C	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			
I : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument * : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPF FORM 1503 (03.82) (PO/CWO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)